This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Phil
5649
8.5

WIDENER
HN W1SD S

Digitized by Google

Phil 5649.8.5

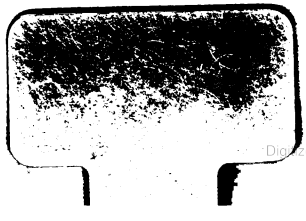
Harvard College Library

FROM THE BEQUEST OF

GEORGE HAYWARD, M.D.

(Class of 1809)

OF BOSTON



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Die Erklärung
der
Bewegungsempfindungen
durch
den Muskelsinn.

Inaugural-Dissertation
der
medicinischen Facultät zu Jena
zur
Erlangung der Doctorwürde
in der
Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe
vorgelegt von

Karl Schäfer
aus Rostock.

Jena,
Druck von B. Engau.
1889.

Digitized by Google

Phil 5649.8.5

HARVARD COLLEGE
OCT 9 1920
LIBRARY
Hayward fund

Genehmigt von der medicinischen Facultät auf Antrag des Herrn Prof. Dr. Biedermann.

Jena, den 12. März 1889.

Prof. Dr. **Kuhnt,**
d. Z. Decan.

Digitized by Google

Seinem

hochverehrten früheren Chef und Lehrer

Herrn Hofrath Professor Dr. **W. Preyer**

als Zeichen dankbarster Verehrung

gewidmet.

Digitized by Google

Digitized by Google

Die Eindrücke, welche passiv bewegte Menschen empfangen und ihr Verhalten in und nach diesem Zustande sind zum nicht geringsten Theile jedem aus dem täglichen Leben bekannt. Purkyné, Mach und neuerdings der Franzose Yves Delage haben sie eingehend einer exacten Prüfung unterzogen und vieles Neue hinzugefügt. Folgende Zusammenstellung enthält die wichtigsten aller bisher, wenigstens mir, bekannt gewordenen Thatsachen auf diesem Gebiet in gedrängter Kürze — einiges Nebensächliche wird im Laufe der folgenden Untersuchung Platz finden.

1. Bei einer passiven progressiven, d. h. geradlinigen Bewegung ist man auch unter Ausschluss aller etwaigen Hülfsmittel, wie Augen, Tastempfindung, Luftströmungen u. s. w. im Stande, ganz genau den Moment des Beginns, die Richtung und ungefähre Geschwindigkeit einer Bewegung anzugeben. Erst bei einer von Delage festgestellten — die Zahl ist für uns hier gleichgültig — äusserst geringen Geschwindigkeit hört diese Fähigkeit auf.

2. Von Rotationsbewegungen gilt ganz das Nämliche.

Digitized by Google

3. Man hält bei Rotationsbewegungen die Richtung der resultirenden Massenbeschleunigung für die Verticale.

4. Die meisten activen Bewegungen sind während der Rotation sehr erschwert, einige unmöglich.

5. Man empfindet bei allen passiven Bewegungen nur die positive oder negative Beschleunigung, nicht die Geschwindigkeit.

6. Positive oder negative Beschleunigung wird bei progressiven Bewegungen weniger gut empfunden, als bei Kreisbewegungen.

7. Nach Mach hört auch eine konstant gegen den Beobachter dieselbe Richtung einhaltende Beschleunigung schliesslich auf, empfunden zu werden. Delage bestreitet diese Thatsache. — Es bedarf also erneuter Prüfung.

8. Man hat bei Verminderung der Geschwindigkeit einer Rotationsbewegung und in noch höherem Grade bei plötzlicher Arretierung das Gefühl im entgegengesetzten Sinne gedreht zu werden.

9. Bei diesem Gefühl von Gegendrehung hat man die Empfindung, dieselbe geschähe unter einem gewissen Widerstande.

10. Beim Aufhören einer Progressivbewegung fehlt ein analoges Gefühl von Rückwärtsbewegung.

11. Sowohl bei wirklicher, wie bei scheinbarer Rotationsbewegung glaubt man nach Kopfdrehungen um eine der Rotationsaxe nicht parallele Axe, um eine andere Axe weitergedreht zu werden; diese steht senkrecht auf der Ebene, welche man durch die frühere Ro-

Digitized by Google

tationsaxe und die Axe, um welche der Kopf gedreht wurde, legen kann.

12. Alle scheinbaren Bewegungen lassen sich durch wirkliche von entgegengesetztem Sinne compensiren.

Diese subjectiven Empfindungen während und nach passiven Bewegungen mit Hülfe von Endolymphströmungen in den Bogengängen zu erklären, wie es Mach in seiner Arbeit: „Grundriss der Lehre von den Bewegungsempfindungen, Leipzig 1875“ und vor wie nach ihm viele andere Forscher gethan haben, scheint mir nicht berechtigt zu sein. Zunächst stehen jener Theorie manche experimentelle und theoretische Einwände und Schwierigkeiten im Wege, und dann bleibt es auch völlig unaufgeklärt, warum während der Drehung eine Reihe activer Bewegungen sehr erschwert werden (Delage), und manche Kopfwendungen geradezu unmöglich sind (Mach l. c. S. 34 u. 35); ferner das Gefühl, dass die scheinbare Gegendrehung beim Anhalten des Apparates unter einem gewissen Widerstande vor sich geht, namentlich soll dies am Kopf auftreten, der sich „wie in einem zähen Brei bewegt“ (Mach l. c. S. 26); endlich drittens, warum wir, wenn kein anderes Organ als die Bogengänge im Stande ist, Bewegungsempfindungen zu vermitteln, bei vollkommen unbewegtem Kopfe, also unter absolutem Ausschluss von Verschiebungen der Labyrinthflüssigkeit ganz genau angeben können, wohin, wie weit, wie rasch ein Bein oder beide, oder eine Hand, ein Arm passiv bewegt werden.

Es müssen hier andere Momente die Perception vermitteln. Zunächst denkt man wohl an Tasteindrücke.

Digitized by Google

Aber durch eine Reihe trefflicher Versuche Mach's (l. c. S. 66 ff.) wird dargethan, dass deren Einfluss doch ein mindestens sehr untergeordneter ist. Auch einige andere Entstehungsursachen, welche eventuell in Frage kommen könnten, erweisen sich bei genauerer Prüfung als nicht stichhaltig. Ich glaube vielmehr, dass wir unsere Bewegungsempfindungen dem Umstande verdanken, dass bei jeder passiven Bewegung, sei es, welches Gliedes es wolle, diejenigen Muskeln, welche activ dieselbe Bewegung bewirkt haben würden, schlaff werden, weil ihre Ansatzpunkte sich einander nähern, deren Antagonisten aber über ihre Länge in der Ruhe gedehnt werden, weil ihre Ansatzpunkte sich von einander entfernen. Mit einem Worte, die Spannungsänderungen in gewissen Bezirken unserer Körpermuskulatur infolge der passiven Bewegung sind es, die uns die Bewegung zum Bewusstsein bringen. Vielleicht tragen das Schleifen der Gelenkflächen auf einander, sowie eine Dehnung, resp. Entspannung der Kapsel und ihrer ligamentösen Adnexa dazu bei. Tasteindrücke kommen erst in zweiter Linie als untergeordnete Hülfsmittel in Betracht.

Die Entgegnung, dass Spannungsänderungen in der Muskulatur, die aus so kleinen Verschiebungen innerhalb eines Gelenkes resultirten, zu gering seien, um eine Empfindung auszulösen, wird einmal schon dadurch entkräftet, dass immer sehr viele Muskeln gleichzeitig davon betroffen werden, also gewissermassen eine Art Reizsummation stattfindet. Dann lässt sich aber auch diese Hypothese durch experimentelle Untersuchungen

Digitized by Google

unterstützen, die jeder jeden Augenblick an sich selbst nachprüfen kann.

Wir alle gehen bekanntlich an einen zu überwindenden Widerstand, an eine zu hebende Last schon mit einer gewissen, ich möchte sagen vorläufigen Contraction heran. — Spiegelt man nun jemandem vor, man wolle aus gewisser Höhe ein Kilogramm in seine bei gebeugtem Ellbogen ausgestreckte Hand fallen lassen, und vertauscht es im letzten Augenblick mit einem kleinen Geldstück, so heben sich Unterarm und Hand energisch beim Auffallen desselben, und senken sich ebenso, wenn man statt des vermutheten Geldes das Gewicht fallen lässt. Jedoch nur einen Moment. Schon im nächsten befinden sich Arm und Hand sicher und ruhig in der gewünschten Lage. Wie kommt es? Als die Münze auffiel, wurde der Biceps zu stark contrahirt, der Unterarm bewegte sich also nach oben, der Biceps näherte seine Ansatzpunkte, der Antagonist, Extensor triceps wurde gedehnt. Dadurch ward die Hebung empfunden und alsbald corrigirt. Beim Auffallen des Gewichtes nähern sich umgekehrt die Ansatzpunkte des Streckers, der Beuger aber wird über seine bisherige Länge gedehnt, indem mit dem Sinken des Unterarms seine Ansatzpunkte sich weiter voneinander entfernen. Wiederum wird so die Bewegung empfunden und corrigirt. Der nunmehr im rechten Winkel zum Oberarm ruhig ausgestreckte Unterarm ist aber nur scheinbar unbeweglich. In Wirklichkeit macht er, wie Preyer und Rieger darthaten, fortwährend, selbst gegen den Willen der Versuchsperson kleine Schwankungen, abwechselnd

Digitized by Google

immer auf und nieder. Die mittels des Registrirapparates erhaltenen Curven lassen sich so deuten, dass eben jede kleinste Hebung des Armes sofort wieder compensirt wird durch die Contraction des Streckers; diese geht, wie es beim Pendeln geschieht, etwas über die Gleichgewichtslage hinaus, der Beuger holt sofort den Arm wieder zurück und so fort. Aehnlich lassen sich auch Schwankungen von einer Seite zur andern auffassen. Ehe aber die Hebung durch eine Senkung oder eine Seitwärtsbewegung durch die entgegengesetzte ausgeglichen werden kann, muss doch ein sensibler Reiz durch erstere ins Centralorgan gesendet werden, der letztere auslöst. Dass wir uns keine Rechenschaft davon geben, weder von diesen feinsten noch von obigen gröberen Correcturen, sie uns nicht zum Bewusstsein kommen, beweist nichts hiergegen. Der eifrig Lesende schlägt auch nach dem stechenden Insect, ohne es zu merken, und der Schlafwandelnde vermeidet vorsichtig Stühle und scharfe Tischkanten, ohne sich dessen bewusst zu werden. Die Aufmerksamkeit concentrirt sich eben auf den Zweck der Bewegung, auf den Gegenstand, den wir ergreifen wollen, wohin wir ihn zu tragen gedenken, was mit ihm geschehen soll; nicht mehr auf die Bewegung selbst, die, weil alltäglich, mechanisch vor sich geht, geschweige denn auf solche nebensächliche Bewegungsvorgänge. Wenn diese aber bei ganz passiven Bewegungen allein zur Geltung kommen, und wenn wir absichtlich die Aufmerksamkeit auf sie lenken, indem wir uns fragen, wie und wohin bewegen wir uns? dann erst werden wir ihrer inne und dann um so deutlicher.

Digitized by Google

E. H. Weber hat ferner festgestellt, dass man mit Hülfe des Muskelsinns noch Unterschiede in der Belastung, z. B. der Hand wahrnimmt, wenn der doch so feine Tastsinn sie bereits nicht mehr wahrnimmt. Dies ist nur so zu erklären, dass auch das Hinzufügen sehr geringer Ueberschüsse der Belastung noch merkbare Bewegungen des Armes oder Handgelenkes auslöst.

Dass schliesslich minimale Bewegungen ins Grosshirn signalisirt werden, und sogar mitunter recht starke Bewegungsempfindungen auslösen, zeigen folgende, von Mach angestellte und von mir durch ähnliche bestätigte Versuche. Mach schreibt (l. c. S. 70 ff.): „Beim Ausgiessen von Quecksilber aus einem Gefäss hat man die Empfindung der gewaltsamen (!) Hebung derjenigen Hand, die das Gefäss hält. Man kann auch beim aufmerksamen (!) Zusehen wahrnehmen, dass sich die Hand wirklich etwas (!) hebt.“ Ferner (Versuch 3, S. 71): „Auf den Kopf wird eine innen gepolsterte Holzkappe gesetzt, jedoch so fest, dass man den Kopf nothwendig mit drehen muss, wenn man die Kappe dreht. In der Nähe des rechten und linken Ohres befindet sich an der Kappe ein Haken. Am rechten Haken greift eine Schnur an, welche horizontal nach vorne über eine Rolle geht, und an der eines der beschriebenen Gefässe hängt. Eine zweite Schnur geht vom linken Haken horizontal nach hinten über eine zweite Rolle und trägt das zweite Gefäss. Beide Gefässe ertheilen dem Kopf ein übrigens variables Drehungsmoment, welches durch die Muskeln im Gleichgewicht gehalten wird. Lässt man nun das Wasser aus den Gefässen abfliessen, so fühlt man eine

Digitized by Google

Drehung des Kopfes, entgegen demjenigen Sinne, in welchem er durch die Gewichte gedreht würde. Bemerkenswerth ist, dass alle diese Drehungen sehr stark empfunden, aber nur unmerklich ausgeführt werden.“ In Parenthese sei mir hier die Frage erlaubt, wie es sich nach der Bogengangstheorie erklärt, dass das Drehungsgefühl so stark, die Drehung selbst und also auch die Affection der Labyrinthflüssigkeit aber so gering ist; man muss sich doch vorstellen, dass die Stärke der Bewegungsempfindungen ganz genau der Stärke des Druckes der Lymphe auf die Labyrinthwand entspreche, in diesem Falle also sehr klein sein müsste; und woran unterscheiden wir ferner, dass sich die Drehung auf den Kopf beschränkt und der Körper nicht mitgedreht wird, in beiden Fällen verhalten sich ja doch die Bogengänge ganz gleich?

In den angeführten und einigen ähnlichen Versuchen wirkt also auf einer Seite eine Kraft, die durch Muskelzug auf der anderen genau compensirt wird. Nun wird die Last rasch vermindert, rascher als jene Muskeln im Stande sind, sich entsprechend dem abnehmenden Widerstande zu entspannen, und die Folge ist, dass sie den Kopf in Bewegung versetzen. Dieselbe ist äusserst unbedeutend, da ja der Ueberschuss an Contraction durch das fortwährende gleichzeitige Nachlassen derselben immer ein geringes bleibt, wird aber „stark empfunden!“

Es ist also nach all diesem wohl keineswegs so ganz unzulässig, anzunehmen, dass auch ganz minimale Bewegungen, die in Folge der Trägheit und Schwerkraftsänderung entstehen, wahrgenommen werden kön-

Digitized by Google

nen. Uebrigens sind solche Bewegungen gar nicht immer so minimal: schon manchen hat das Beharrungsvermögen seines Körpers zu Boden gerissen.

Wenn jemand sitzt, liegt, aufrecht geht, so wird keiner bezweifeln, dass er im Gleichgewicht sei. Sowie aber jemand im Begriff steht, von der Erdanziehung zu Boden gerissen zu werden, sagt man, er verliert das Gleichgewicht. Gleichgewicht ist also die Bezeichnung für einen Zustand, in dem die Anziehung, die die Erde auf unseren Körper ausübt, von den Ligamenten und Muskeln compensirt ist. Man kann aber auch den Rumpf fast im rechten Winkel nach vorn beugen, ohne zu fallen; ebenso ein gutes Stück nach hinten und zur Seite. Man kann auch, ohne hinzustürzen, wie ein Thier auf Händen und Füssen laufen, ja mit einiger Geschicklichkeit auf dem Kopfe stehen. Consequentermassen muss man diese Stellungen mit unter den Gleichgewichtszustand begreifen. Sofort aber ergiebt sich die Nothwendigkeit, zu erklären, warum wir uns stets beim Stehen, Gehen, Sitzen der aufrechten Körperhaltung bedienen und nicht etwa eines der anderen Gleichgewichtszustände, oder aller abwechselnd; warum Vierfüssler auf allen Vieren laufen und nicht wie wir blos auf den Hinterextremitäten, was, wie dressirte Hunde und Bären zeigen, an sich kein mechanisches Hinderniss findet; es wird endlich zweckmässig sein, den Ausdruck Gleichgewicht ganz fallen zu lassen und dafür diejenige specifische Körperhaltung, welche alle Thiere beim Sitzen resp. Laufen einnehmen und die für alle Individuen der-

Digitized by Google

selben Thiergruppe dieselbe, für Individuen verschiedener Gruppen verschieden ist, als die normale durch einen besonderen Namen vor allen anderen sonst möglichen als abnormen auszuzeichnen und jenen gegenüberzustellen. Wir wollen sie den Usustatus nennen. Denn sie ist offenbar diejenige Körperhaltung (status), welche sich im Verlaufe der phylogenetischen Entwickelung als die für die betreffende Thiergruppe im Kampfe um's Dasein zweckmässigste (usus) bewährt hat und daher auch im Verlaufe der Zeiten die allein übliche (usus) geworden ist.

Der Usustatus des Menschen ist die Verticalstellung auf den Füssen.

Es ist nun bekannt, dass jeder, der auf irgend eine Weise seinen Usustatus einbüsst, und dies nach Obigem durch Spannung gewisser Muskeln und Erschlaffung der Antagonisten wahrnimmt, sofort seine normale Körperhaltung wieder zu erlangen sucht. Es geschieht das, wie man sich leicht an sich selbst überzeugen kann, ohne die Intervention des Bewusstseins oder Willens mit der Präcision einer Reflexbewegung. Dass es sich hier um einen Reflex handelt, wird dadurch bestätigt, dass decapitirte Frösche auf den Rücken gelegt, sich regelmässig wieder umkehren, ihre gewöhnliche hockende Körperhaltung, eben ihren Usustatus wieder einnehmen.

Wir wollen also obige Hypothese dahin erweitern, dass, wenn eine passive Bewegung eine Störung des Usustatus intendirt, die dabei stattfindende Aenderung in dem Spannungszustande der betreffenden Muskeln nicht nur eine Bewegungsempfindung vermittelt, sondern zugleich auf reflectorischem Wege eine Wiedercontrac-

Digitized by Google

tion der gedehnten Muskeln veranlasst, so dass der Usustatus wieder hergestellt wird.

Es sei hier noch bemerkt, dass ganz kürzlich Ewald in seinem Aufsatze: „Das Kopfschwingen“ (Pflüger's Archiv Bd. 44, S. 326 ff.) zur Erklärung des Kopfschwingens, so viel ich sehe, ganz dieselbe Hypothese aufstellt, wie ich sie eben entwickelt habe — offenbar ohne Kenntniss von meiner Abhandlung: „Ueber die Wahrnehmung eigener passiver Bewegungen durch den Muskelsinn“ (Pflüger's Archiv Bd. 41, S. 566 ff.), von welcher vorliegende Dissertation theilweise ein Auszug ist.

Die Wahrnehmung der geradlinigen Bewegung in horizontaler Ebene.

Sie kann geschehen nach allen Richtungen der Windrose. Es genügt, wenn wir hier eine derselben, etwa die von *hinten* nach vorn in's Auge fassen.

Stellt man ein einigermassen hohes, am besten prismatisches Stück Holz auf ein Stück Papier, und zieht sehr langsam an letzterem, so geht das Holz in seiner aufrechten Stellung mit. Zieht man etwas rasch, so fällt das Holz entgegen der Bewegungsrichtung um. Zieht man aber mit möglichster Schnelligkeit das Blatt weg, so macht das Holz gar keine Bewegung, sondern bleibt ruhig in seiner alten Stellung auf dem Tische stehen.

Genau so verhält sich der Mensch. Beim Abtreiben eines Bootes durch eine sanfte Strömung, oder wenn ein Eisenbahnzug sich in Bewegung setzt, bleibt man ruhig stehen. Der Fall einer plötzlichen Entfernung

Digitized by Google

der Unterlage wird wohl kaum vorkommen, um so häufiger aber der Fall des Beginns einer mittelraschen Bewegung. Giebt es doch wohl kaum jemand, der nicht schon auf der Plattform einer Pferdebahn oder sonst auf einem Wagen stehend, beim unvermutheten Anziehen der Pferde zurückgetaumelt wäre, oder vorwärts beim plötzlichen Anhalten, oder der sich nicht prophylaktisch schon vorüberbeugte, wenn er den Eintritt der Vorwärtsbewegung voraussieht.

In diesem Falle gehen also bei Beginn der Bewegung die Füsse sogleich mit der Unterlage mit; der Unterschenkel im Talusgelenk hat aber schon die Tendenz, zurückzubleiben. Sehr erfolgreich wirkt die Trägheit am Knie und Hüftgelenk. Die Wirbelsäule und mit ihr der Rumpf zeigt das Bestreben, sich soweit sie vermag nach hinten — wir haben also immer die Bewegung nach vorn im Auge, wobei auch der Beobachter vorwärts sieht — concav zu krümmen; der Kopf, als höchster Punkt, strebt bei seiner ausserordentlichen Freibeweglichkeit am energischsten nach hinten, in geringerem Masse Schultern, Arme, Hände. Wir bekommen also hier ein zahlreiches Aufeinanderschleifen von Gelenkflächen und bedeutende Modificationen im Spannungszustande der Gelenkkapseln resp. -bänder und vor allem der Muskeln.

Diese Vorgänge sind selbstredend, abgesehen von quantitativen Unterschieden bei jeder Vorwärtsbewegung immer genau dieselben, und da sie gewisse Empfindungen auslösen, so werden auch diese stets dieselben sein. Hat man sich aber wiederholt durch optische oder Tast-

Digitized by Google

eindrücke oder irgend welche psychische Vorgänge überzeugt, dass diese letzteren immer und auch immer nur mit einer Vorwärtsbewegung verknüpft sind, so wird man bald dahin kommen, sofort mit ihrem Auftreten, auch ohne jene Hülfsmittel, die Ueberzeugung zu gewinnen, es handele sich um eine Vorwärtsbewegung.

Durch die Trägheit wird der Körper aus seiner verticalen Lage in eine schiefe versetzt und so der Usustatus verlassen. Dadurch wird der Körper der Schwere mehr ausgesetzt als vorher: die Schwerlinie fällt über die Unterstützungsfläche hinaus. Die sie compensirenden Muskeln werden passiv durch den stärkeren Widerstand gedehnt, und hierdurch die Bewegungsempfindung infolge der Trägheit noch unterstützt. Zugleich tritt aber auch eine reflectorische Wiederherstellung des Usustatus ein, der Körper nimmt seine Verticalstellung, wie er sie in der Ruhe hatte, wieder an.

Auf die beschriebene Weise erfahren wir also, meiner Auffassung nach, den Beginn einer passiven Vorwärtsbewegung und natürlich eine jede Beschleunigung einer bereits bestehenden, da dann wieder die Trägheit von neuem auftritt. Während einer gleichmässigen passiven Bewegung aber, wo alle Körpertheile durch den trägheitscompensirenden Muskelzug wieder in normale Lage gebracht sind und gleiche Geschwindigkeit erlangt haben, ist, da eine Verschiebung der Knochen aneinander dann nicht mehr stattfindet, lediglich die Schwere zu compensiren. Die Spannungsverhältnisse der Muskulatur sind also dieselben, wie auch in der Ruhelage, wir dürfen uns also, wenn meine Auffassung richtig ist,

Digitized by Google

der Bewegung, abgesehen von der Erinnerung u. s. w., nicht bewusst sein. Die hierüber angestellten und früher aufgeführten Experimentaluntersuchungen haben dasselbe Resultat ergeben.

Beim Anhalten kommt zuerst die Unterlage zur Ruhe und ganz gleichzeitig die ihr fest anhaftenden Fusssohlen; Unterschenkel, Oberschenkel, Rumpf und Kopf, deren Reibung aneinander so wie so infolge der vorhandenen Synovialflüssigkeit eine minimale ist, fliegen weiter, am energischsten der Kopf. Der ganze Körper hat also das Bestreben, eine Kreisbewegung nach vorn um die plantae pedum als Centrum zu beschreiben. Dadurch werden dann wiederum die solcher Bewegung antagonistischen Muskeln gedehnt, die Bewegung percipirt und compensirt, sei es durch einen Ruck, einen Sprung nach vorn, einige Laufschritte, oder Festhalten mit den Händen. Es ist also alles wie beim Einsetzen der Bewegung, nur wirkt die Trägheit nach der entgegengesetzten Seite.

Man könnte die Frage aufwerfen, warum niemand, der sich hintenüberfallen lässt, oder von einem anderen an Kopf oder Schultern nach hinten gerissen wird, meint, er fange an, sich vorwärts zu bewegen; denn es müsste doch auf eins hinauslaufen, ob die Trägheit oder eine andere Kraft den Körper nach hinten umkantet, da es ja für die Bewegungsempfindung eben nur auf dies Umkanten ankommt. Nun, die Trägheit ist eine Kraft, welche unter den vorliegenden Bedingungen erstens in allen Gelenken gleichzeitig angreift, und deren umkantende Wirkung zweitens proportional der Höhe des be-

Digitized by Google

wegten Körpers wächst. Bei keiner der genannten künstlichen Nachahmungen sind aber, wie eine kurze Ueberlegung zeigt, diese Bedingungen alle erfüllt, und es ist also nur natürlich, wenn dieselben nicht die Empfindung einer Progressivbewegung nach sich ziehen.

Wir haben bisher nur der aufrechten Stellung und der Vorwärtsbewegung unsere Aufmerksamkeit geschenkt. Betrachtungen über andere Lagen unseres Körpers bei der Bewegung und andere Richtungen würden den obigen ganz analog sein — es kämen eben nur andere Muskelgruppen in Frage.

Wir gehen daher jetzt gleich über auf:

Die Wahrnehmung geradliniger Bewegungen in verticaler Ebene.

Es handelt sich hier also um die Bewegung des Aufsteigens (z. B. im Luftballon) und des Fallens. Der freie Fall kommt praktisch ausser bei einem Sprunge ins Wasser; etwa beim Baden, wohl kaum vor. Aber auch jeder Fall mit konstanter Geschwindigkeit, wie die Benutzung eines Fahrstuhls im Hôtel oder die Einfahrt in ein Bergwerk muss für die Anfangsmomente als ein freier Fall angesehen werden. Im Beginn einer solchen Bewegung wird die Unterlage unter den Füssen des Beobachters — er möge wieder aufrecht stehend gedacht werden — plötzlich gesenkt. Dieser wird einen Moment frei im Raume aus Trägheit ruhen bleiben; das Gefühl des Druckes auf die Unterlage muss aufhören und dies mag, da es jedesmal passirt, schon als Index für das Sinken dienen. Im nächsten Moment beginnen die Füsse,

Digitized by Google

deren Bestandtheile man wohl als in fester Verbindung untereinander ansehen kann, durch nichts gehalten oder unterstützt, frei zu fallen, während der Unterschenkel unter Streckung des Talocruralgelenkes und Entfernung der beiden Gelenkflächen von einander zurückbleibt und mit ihm Oberschenkel und Rumpf; im folgenden Moment fängt auch er an zu sinken; alsdann der Oberschenkel, und so schreitet der Beginn des freien Falls von unten nach oben fort; sobald alle Theile frei fallen, drückt keine Gelenkfläche mehr auf die andere und das Aufhören dieses sonst stets vorhandenen Druckes, nebst der Spannung aller Gelenkkapseln, die mit der Streckung des ganzen Körpers beim freien Fall sich verbindet, ist nicht unmöglicher Weise schon an und für sich ein Merkmal des Fallens. — Wie werden nun aber die Muskeln durch den freien Fall afficirt?

Wir können uns das Verhältniss unseres Kopfes zum Rumpfe, das des Rumpfes plus Kopf zu den Unterextremitäten, sowie das des Gesammtkörpers zu den Füssen in Bezug auf die Unterstützung gegen die Schwerkraft, welche jeder höher gelegene Körpertheil durch die unter ihm befindlichen erfährt, schematisch so vorstellen: Ein verticaler Stab A ist durch ein Charniergelenk mit einem vertical über ihm befindlichen Stabe B verbunden. Des letzteren Schwerpunkt liegt so, dass die Schwerkraftrichtung S Stab A nicht schneidet und also B um die Axe des Charniergelenkes zu drehen sucht. Dieser Kraft hält nun der Muskelzug M die Balance, indem er in entgegengesetzter Richtung wirkt. M ist also genau gleich S. Nun haben wir gesehen, dass, wenn

Digitized by Google

A zu fallen beginnt, B nach dem Trägheitsprinzip noch einen Moment in Ruhe bleibt. Die Wirkung der Schwerkraft wird also für die Dauer dieses Momentes von der Trägheit vernichtet, die Muskelkraft M ist nicht mehr compensirt und übt daher auf B ein Drehungsmoment aus von entgegengesetzter Richtung wie vorher S. Dadurch werden die Antagonisten der Muskeln M gedehnt. Es entsteht die Bewegungsvorstellung des Sinkens; gleichzeitig reflectorische Contraction der Gedehnten auf ihre alte Länge und damit Compensation der Drehung des Körpers durch die Muskeln M.

Beim freien Fall hören also die Muskeln auf die Schwere zu compensiren. Wenn wirklich in der angegebenen Weise die Verminderung des Körpergewichtes gefühlt wird, so muss dies Gefühl besonders stark in den tiefsten Theilen des Körpers auftreten, weil die dortigen Muskeln das ganze Körpergewicht tragen müssen, während der Widerstand, den die Schwere z. B. den Halsmuskeln bietet, nur gleich dem, um ein beträchtliches geringeres Gewicht des Kopfes ist. Mach schreibt (l. c. Seite 32) von der Empfindung der Beschleunigung bei Verticalbewegungen: „Man hat die Empfindung der Beschleunigung auch im Kopfe, doch schien es mir bei diesen Versuchen mehr wie bei den vorigen, dass man die Empfindung im ganzen Körper (!) habe (trotzdem sollen nur die Bogengänge afficirt werden! Anm. d. Verf.) und zwar in den tiefsten Theilen am meisten."

Wird die Fallgeschwindigkeit nach einigen Augenblicken constant, so tritt der alte Druck der Theile auf

Digitized by Google

einander wieder ein und zwar von unten nach oben, von Gelenk zu Gelenk fortschreitend. Dies ist ein weiteres Moment, das stets beim Sinken mit constanter Geschwindigkeit auftritt und also ein weiteres Glied in der Kette der Merkmale des Fallens abgiebt.

Alsbald sind die Muskeln wieder in derselben Verfassung, wie bei der Ruhe in verticaler Lage; wir haben jetzt keinen Index mehr für unsere Bewegung ausser etwa der Erinnerung. Wir empfinden also den Fall nicht mehr — es sei denn, dass er wieder beschleunigt werde, wo dann die Trägheit sich wieder geltend macht —; und der Phantasie sind Thür und Thor geöffnet: manche meinen während des Fallens zu steigen und umgekehrt.

Beim Aufhören der Bewegung kommt zuerst die Unterlage zur Ruhe. Die Füsse des auf ihr Stehenden streben aber der Trägheit zufolge noch weiter abwärts, und da ihr Druck auf die Unterlage, wie wir sahen, während des constanten Falles, gleichwie in der Ruhe, äqual dem Gewicht des Körpers ist, so wird er also jetzt durch die hinzukommende Trägheit grösser, die Fusssohlen mithin stärker auf die Basis des Vehikels aufgepresst. Diese Thatsache wird höchstwahrscheinlich mit benutzt, die Arretierung der Fallbewegung zu percipiren; dass sie nicht allein genügt, hat Mach gezeigt (l. c. S. 67). Den Ausschlag giebt vielmehr der Umstand, dass der geschilderte Vorgang in jedem Gelenk der Reihe nach von unten nach oben sich wiederholt. Dadurch werden die auf den Widerstandszuwachs nicht vorbereiteten Muskeln M gedehnt; sie contrahiren sich

Digitized by Google

auf ihre alte Länge zurück, vernichten damit das vergrösserte Drehungsmoment und schicken gleichzeitig den Anstoss zur Vorstellung vom Aufhören des Fallens ins Centralorgan. Das übrigens auch der verstärkte Druck der Gelenkflächen aufeinander, der unter diesen Umständen nothwendiger Weise statthat, Anlass zu der in Rede stehenden Vorstellung werden kann, braucht wohl kaum wieder erwähnt zu werden.

Im Beginn des constanten Aufsteigens, und dauernd beim gleichförmig beschleunigten, wird durch die nach unten gerichtete Trägheit ebenfalls das Gewicht aller Körpertheile vergrössert, und die die Schwere compensirenden Muskeln in der bekannten Weise afficirt, während des Steigens mit constanter Geschwindigkeit ist die Schwerkraft in Ermangelung des Trägheitszuwachses — alle Theile haben dann gleiche Geschwindigkeit — so gross wie in der Ruhe: wir werden uns daher des Steigens nicht bewusst; und bei dem Aufhören der Bewegung nach oben treten dann wieder dieselben Erscheinungen auf, wie im Beginn des Falles, wie dem Leser nunmehr ohne weitschweifige Erläuterungen verständlich sein wird.

Die Wahrnehmung kreisförmiger Bewegungen in horizontaler Ebene,

in der bisher ausschliesslich Rotationsversuche angestellt wurden. Bei den früheren Betrachtungen hatten wir folgende Kräfte, die auf den Körper wirkten. Einmal die Schwere, dann eine Momentankraft, die durch einen einmaligen Stoss den Körper in Bewegung versetzt; das

Digitized by Google

Bestreben des Körpers entgegen dieser Kraft in Ruhe zu bleiben, seine Ruheträgheit — wenn mir dieser kürzende Ausdruck gestattet ist —; dann eine Kraft, die die Geschwindigkeit der Bewegung constant erhält, d. h. die Reibung und den Luftwiderstand fortwährend überwindet, und endlich die Bewegungsträgheit des Körpers, seine Neigung, die einmal erhaltene Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit beizubehalten.

Im Gegensatz zur geradlinigen Bewegung bekommt dies letztere Bestreben, die alte Richtung zu bewahren, bei der rotatorischen als Centrifugalkraft grosse Bedeutung. Ich will zu zeigen versuchen, dass diese Kraft in letzter Instanz die Ursache aller infolge von Rotationen auftretenden subjectiven Schwindelerscheinungen ist. Diese sind um so heftiger, je rascher die Rotation und je kleiner der Radius, wie jeder leicht an sich selbst erproben kann, indem er sich einmal wiederholt um seine Längsaxe auf den Absätzen herumdreht und dann mit gleicher Geschwindigkeit um einen Tisch oder Stuhl als Centrum einen grösseren Kreis abläuft. Bei einer progressiven Bewegung fehlen diese Erscheinungen gänzlich, weil eben auch die Centrifugalkraft nicht auftritt. Mir ist wenigstens nicht bekannt, dass man beim Fahren per Wagen oder Eisenbahn, beim Aufsteigen im Luftballon oder während der Einfahrt in ein Bergwerk einen Anfall von Dreh- und Gesichtsschwindel bekäme.

Um nun die Erscheinungen, die bei der Kreisbewegung auftreten, gut übersehen zu können, dürfte es gerathen sein, den Kreis als ein ebenes reguläres Poly-

Digitized by Google

gon von unendlich vielen, unendlich kleinen Seiten anzusehen. Wir wollen uns also vorstellen, die Versuchsperson befände sich auf einem kleinen Wagen etwa und dieser solle sich um den Mittelpunkt eines Polygons A B C D E F bewegen. Er befinde sich zunächst in A in Ruhe. Nun wird er plötzlich durch den Stoss einer Momentankraft in eine Bewegung von gewisser Geschwindigkeit versetzt und diese constant erhalten. Es tritt die Ruheträgheit auf, afficirt in bekannter Weise die Muskeln und verursacht die Vorstellung, dass eine Bewegung beginne, und zwar eine geradlinige, die ja auch thatsächlich statthat. Sowie der Wagen in B angekommen, verlässt er plötzlich die bisherige Richtung A B, um in der Richtung B C weiter zu fahren. Nach seiner Trägheit strebt nun das Versuchsobject in der alten Richtung weiter (d. h. auf den Kreis bezogen in tangentialer Richtung), jedenfalls also immer weiter vom Centrum weg. Je nachdem nun dieses Bestreben, eben die Centrifugalkraft, grösser oder geringer ist, als Reibung plus Schwere, welche das fahrende Individuum auf der Unterlage festhalten, wird letzteres in den Raum hinausgeschleudert werden oder mit dem Wagen die Centralbewegung mitmachen. Dasselbe Spiel wiederholt sich an jeder Knickung des Weges, in C, D, E, F und so fort. Die Centrifugalkraft, ihrem Wesen nach absolut identisch mit der Ruheträgheit im Beginn einer Progressivbewegung, übt auf den Körper auch genau die Wirkungen aus wie jene. Sie greift in allen Massentheilchen an, gewinnt mit der Höhe des sich bewegenden Gegenstandes an Effect, sucht ihn also nicht blos ab-

Digitized by Google

zuschleudern, sondern zugleich um seine verticale Axe nach aussen zu neigen, und muss daher auch eine Dehnung derjenigen Muskeln herbeiführen, die bei activer Contraction dem Körper eine Neigung auf das Centrum des Polygons zu erteilen würden. Hier wie dort wird sich daran eine Bewegungsempfindung knüpfen, nämlich die, von Zeit zu Zeit die gerade Linie zu verlassen, also sich im Polygon um ein Centrum zu bewegen. Hier wie dort wird eine reflectorische Contraction der gedehnten Muskeln die Wirkung der Centrifugalkraft sofort annulliren.

Geht nun das Polygon in einen Kreis über, so tritt schon zugleich mit dem Beginn der Bewegung die Centrifugalkraft auf. Die Ruheträgheit bei passiven Bewegungen liefert für gewöhnlich, wie wir gesehen haben, eine aus drei Theilen bestehende Bewegungsvorstellung: erstens, dass überhaupt eine Bewegung erfolgt; zweitens, in welcher Richtung; drittens, dass sie geradlinig ist. Diese letzte Componente wird durch die Centrifugalkraft — man könnte auch Richtungsträgheit sagen — aufgehoben und durch die Empfindung, sich fortwährend wieder einem Centrum zu nähern, also um dasselbe eine Kreisbahn zu beschreiben, ersetzt.

Die Ruheträgheit verschwindet natürlich auch bei der Rotation bald, indem alle Theile gleiche Geschwindigkeit annehmen. Die Centrifugalkraft aber bleibt, solange die Bewegung dauert, bestehen und zwar ununterbrochen. Während also bei der polygonalen Bewegung die Muskeln, die, bei jeder Knickung des Weges gedehnt, durch Recontraction die Dehnung compensirten, immer

Digitized by Google

wieder erschlafften, sobald die Bewegung wieder geradlinig ward, bleiben sie bei der Kreisbewegung dauernd gedehnt. Wird diese positiv oder negativ beschleunigt, so tritt gemäss dem Zuwachs oder der Abnahme der Centrifugalkraft eine Verstärkung oder Verminderung der Contraction ein, daneben natürlich eine Auffrischung des Bewegungsgefühls; bleibt die Geschwindigkeit constant, so wird sie vergessen, weil eben die im Anfang auftretende passive Dehnung, die Empfindungsursache, sogleich von den centralwärts wirkenden Muskeln vernichtet wird und vernichtet bleibt, solange Muskelzug und Centrifugalkraft sich gerade die Wage halten.

Wiederum sind es also Aenderungen im Spannungszustande unserer Muskeln, die uns Aufschluss darüber geben, dass eine und zwar eine centrale Bewegung eingeleitet wird, die uns anzeigen, wann deren Geschwindigkeit sich vergrössert, wann sie abnimmt. Aus derselben Ursache erklären sich nun auch die interessanten Erscheinungen, die auftreten, wenn die Centralbewegung aufhört.

Da die Centrifugalkraft nichts ist, als der Widerstand des Körpers gegen den Zwang, statt immer in gerader Linie weiter zu fliegen, jeden Augenblick seine Richtung zu ändern, einen Zwang, den seine Adhäsion an der Drehscheibe ihm auferlegt, so muss sie natürlich in genau demselben Momente aufhören, wo dieser erlischt, nämlich sobald der Rotationsapparat arretirt wird. Damit wird dann den sie compensirenden Muskeln der Widerstand entzogen und dieselben neigen nun den Körper mit dem Kopfe nach dem Centrum zu, was sich

Digitized by Google

auch durch eine Reihe instructiver Experimente zeigen lässt.

Durch solche Thätigkeit der genannten Muskeln werden nun deren Antagonisten, die also bei einer Contraction die Wirkung der Centrifugalkraft unterstützt haben würden, über ihre Länge in der normalen Ruhehaltung gedehnt. Dadurch entsteht die Empfindung, dass der Körper sich dem Centrum zuneigt. Nun haben wir gesehen, dass wenn infolge des Trägheitsgesetzes ein in A befindlicher menschlicher Körper sich nach B hinneigt, sofort an diese Wahrnehmung mit zwingender Nothwendigkeit der Schluss geknüpft wird, es beginne eine Bewegung in der Richtung B A, weil unzählige Erfahrungen das ausnahmslose Zusammentreffen beider Thatsachen gelehrt haben. Wird man also nicht meinen müssen, vom Centrum wegzufliegen? Nein. Unendlich oft haben wir den Körper durch active Muskelzusammenziehung nach vorn oder nach einer Seite geneigt, z. B. nach links, wenn wir mit dem rechten Arm eine schwere Last trugen, oder sonst Bewegungen nach einer Richtung gemacht, ohne dass sich daran eine Locomotion in entgegengesetzter angeschlossen hätte; und da nun auch in unserem Falle lediglich eine Contraction unserer eigenen Muskulatur dem Körper die Inclination nach dem Centrum ertheilt, so wird es auch hier bei der einfachen Wahrnehmung dieser Bewegung bleiben und sich die Vorstellung einer Bewegung vom Centrum weg nicht hinzugesellen. Mach bestätigt dies experimentell (l. c. S. 71 u. 72). Ertheilt man nämlich dem Körper ein Drehungsmoment nach rechts durch über Rollen gehende

Digitized by Google

Wassereimer, so wird dieses durch Muskelzug compensirt. Läuft das Wasser aus, so vermindert sich rasch der Widerstand, der Körper wird von den Compensatoren nach links gezogen, deren Antagonisten also gedehnt. Daran knüpft sich aber nicht die Vorstellung von einer beginnenden Locomotion nach rechts, wie dies der Fall sein würde, wenn die Trägheit, die im Beginn einer solchen auftritt und auch nach links wirkt, die Ursache der Antagonistendehnung gewesen wäre. Es ist anzunehmen, dass Muskeldehnung durch Muskelzug und Muskeldehnung durch Trägheitszug derartig von einander unterscheidbar sind, dass ein genaues Auseinanderhalten der beiden für das Sensorium möglich ist. Nun zurück zu unserer Centralbewegung.

Die Geschwindigkeitsträgheit hört im Gegensatz zur Richtungsträgheit nicht momentan mit der Rotation auf. Alsbald fliegt vielmehr der Körper in tangentialer Richtung weiter, oder neigt sich wenigstens in dieser Richtung, wenn Gewicht und Reibung zwar gross genug sind, ihn auf der Scheibe zu fixiren, aber nicht gross genug, ihn ganz in seiner alten Stellung festzuhalten. Dies kann nun Anlass zu zwei Bewegungsvorstellungen werden: nämlich entweder zu der, es höre plötzlich die bisherige Bewegung auf, oder zu der, dass plötzlich eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung begönne. Das Aufhören der passiven Bewegung wird aber dadurch erheblich in seiner Wahrscheinlichkeit für die subjective Vorstellung beeinträchtigt, dass ja noch eine andere Bewegung des Körpers, die nach dem Centrum hin, welche der Muskelzug verursacht, vorhanden ist, und

Digitized by Google

so wird denn der zweiten Möglichkeit der Vorzug gegeben. Wir meinen in der Richtung rückwärts eine Bewegung zu beginnen.

Wir haben mithin nach Aufhören der Rotation das Gefühl, eine Progressivbewegung von entgegengesetztem Sinne zu beginnen und empfinden zugleich einen fortwährenden Zug nach dem Centrum. Beides combinirt sich, wie früher besprochen wurde, für die Vorstellung zum Bilde einer centralen Bewegung: es entsteht das Gefühl der Gegendrehung!

Mach sagt (l. c. S. 26): „Merkwürdig ist beim Anhalten des Apparates noch das Gefühl, als ob die Gegendrehung mit einem gewissen Widerstande ausgeführt würde. Man meint sich namentlich mit dem Kopfe wie in einem zähen Brei zu bewegen.“ Vergebens habe ich in seiner Abhandlung nach einer Erklärung dieser Thatsache gesucht. In der That lässt sie sich auch schwerlich mit den Bogengängen in Verbindung bringen. Nach obigen Betrachtungen erklärt sie sich aber leicht und erscheint auch gar nicht so merkwürdig. Sobald die Centrifugalkraft nicht mehr wirkt und ihre Compensatoren den Körper nach dem Centrum ziehen, beginnen, wie gesagt, reflectorisch die über ihre gewöhnliche Länge gedehnten Antagonisten sich zu contrahiren, üben also einen Zug auf den Körper vom Centrum weg aus und erschweren dadurch den centripetalen Muskeln ihre Arbeit, setzen ihnen Widerstand entgegen, der um so deutlicher fühlbar ist, als er schnell wächst. Am Kopf ist er natürlich am auffallendsten, weil dieser Körpertheil für gewöhnlich von allen der am leichtesten und

Digitized by Google

freiesten bewegliche ist, ganz abgesehen davon, dass die ihn fixirenden und bewegenden Muskeln besonders ausgebildete Empfindlichkeit für Widerstandsdifferenzen besitzen müssen, da sie unstreitig am öftesten von allen Muskeln in Thätigkeit gesetzt werden.

Auch dass während der passiven Rotation eine Reihe activer Bewegungen sehr erschwert, ja unmöglich werden (Delage; Mach, S., 34, Versuch 4) findet jetzt eine einfache Erklärung. Will man beispielsweise vor der Rotation den Kopf auf die rechte Seite neigen, so contrahirt man einfach die dortigen Halsmuskeln und der Kopf folgt sofort ihrem Zuge direct nach rechts. Während der Drehung findet aber zugleich der starke Muskelzug nach dem Centrum statt. Der Kopf muss sich also nach dem Parallelogramm der Kräfte statt rein seitwärts in der Richtung der Resultirenden aus centralem und Seitwärtszug bewegen; die reine Seitwärtsbewegung wird also unmöglich oder gelingt doch nur mühsam unter Zuhülfenahme weiterer dem centralen Zug wieder entgegenwirkender Muskelmassen.

Dass endlich das Gefühl der Gegendrehung sogleich mit der Wiederaufnahme der vorigen Rotation erlischt oder allgemein gesprochen, die scheinbare Bewegung durch eine wirkliche in entgegengesetzter Richtung compensirt werden kann, wird leicht verständlich, wenn man bedenkt, dass bei dem Wiedererscheinen der Centrifugalkraft sich der centrale Muskelzug gewissermassen wieder gegen diese wendet, keine Antagonistendehnung mehr auslöst, und dass damit die eine Ursache der Gegendrehungsvorstellung wegfällt. Die zweite war das

Digitized by Google

Bestreben des Körpers unter Fixirung der Füsse in der Tangente der Drehrichtung vorwärts zu fallen. Sowie die Rotation wieder beginnt, werden die Füsse — denen sich, wie oben erläutert, jede Bewegung zuerst mittheilt, um dann erst aufwärts fortzuschreiten — wieder dem vorangeeilten Kopfe untergeschoben, gerade wie man beim Balanciren eines Stockes auf der Fingerspitze diese, wenn jener sich zum Falle nach einer Seite überneigt, nach derselben Richtung vorschiebt. Wie der Stock dadurch wieder in eine verticale Lage kommt, so hier der rotirende Körper; damit ist dann auch das zweite Moment zur Entstehung des Gefühls der Gegendrehung beseitigt, die scheinbare Gegendrehung hört also auf.

Bei der gewöhnlichen Rotation bleibt immer dieselbe Seite des Gedrehten dem Centrum zu- resp. abgewendet; die in der Richtung des Radius wirkende Centrifugalkraft greift also den Körper fortwährend in derselben Richtung an, d. h. also, wenn z. B. der Rücken nach dem Centrum sieht, hat man während der ganzen Rotation die Neigung vornüberzufallen, ist die linke Seite dem Mittelpunkt zugekehrt, wird man immerfort nach rechts gezogen u. s. w. Hierbei dreht sich nun der rotirende Körper mit jeder Umdrehung zugleich einmal um sich selbst — wie der Mond bei seiner Umdrehung um die Erde. Mit anderen Worten, bei einer Drehung um eine Axe parallel der eigenen Längsaxe beschreiben die transversale und sagittale Axe um die verticale einen Kreisbogen von 360^0.

Digitized by Google

Bei dieser Gelegenheit möchte ich noch darauf aufmerksam machen, dass die Trägheit eines auf der Centrifuge aufrecht stehend, also um eine seiner Längsaxe parallele Axe gedrehten Menschen sich nicht nur dem fortwährenden Zuge nach der Rotationsaxse zu widersetzt, sondern eben so gut auch dieser eben besprochenen Kreistour um die Längsaxe. Der menschliche Körper hat ebensogut wie jeder andere das Bestreben, bei einer Bewegung seine Axen stets nur parallel sich selbst zu verschieben. Wird also eine Rotation etwa im Sinne des Uhrzeigers eingeleitet, so beginnen alsbald die Füsse und Unterextremitäten in demselben Sinne eine Drehung um die Längsaxe, die Axen des Rumpfes und Kopfes suchen aber ihre Lage im Raume beizubehalten. Der Beobachter befindet sich daher in derselben Verfassung als hätte er im Ruhezustand aufrecht stehend seinem Körper eine Drehung um die Längsaxe im entgegengesetzten Sinne ertheilt. In beiden Fällen werden die antagonistisch wirkenden Muskeln gedehnt. Die daraus resultirende Bewegungsempfindung ist bei der passiven Drehung natürlich mit Ursache von deren Perception. Ein reflectorischer Muskelzug wird sie compensiren und gleich dem centralen Muskelzug während der ganzen Bewegung vorhanden sein. Beim Anhalten der Scheibe entspricht er einem drehenden Trägheitszug in entgegengesetzter Richtung wie vorhin, trägt also auch zur Entstehung des Gefühls der Gegendrehung mit bei.

Wir haben jetzt zu besprechen die Neigung gegen das Centrum, wie wir sie an rasch im Kreise herum-

Digitized by Google

laufenden Menschen und Pferden — im Circus etwa — zu sehen gewohnt sind. Denken wir uns eine Versuchsperson passiv auf der Drehscheibe rotirt, und ihre linke Seite sei dem Mittelpunkt zugekehrt. Sobald die Rotation beginnt, reisst die Centrifugalkraft dieselbe nach rechts. Die Muskulatur links wird gedehnt und zieht sich wieder zusammen, bis der Körper sich wieder in der Verticalstellung befindet. Dann ist die Dehnung redressirt, und es wird kein Impuls zur Contraction mehr von der centralen Ganglienzelle abgegeben, welche den Reflexvorgang vermittelt. Indem wir uns aber werden vorstellen müssen, dass, solange die Dehnung dauert, immer in gewissen Zwischenräumen ein solcher Impuls vom Rückenmark nach der motorischen Endplatte abgelassen wird, so wird klar, dass die Contraction noch nicht aufhört, wenn der letzte Impuls abgeht, sondern erst, wenn er angekommen und seine Wirkung abgelaufen ist. Da zwischen beiden Zeitpunkten aber bekanntlich eine messbare Weile vergeht, so wird also der Körper noch über die Verticale hinausschwanken. Zwar versuchen die Muskeln rechts, welche dadurch über ihre normale Länge gedehnt werden, sich dem durch Contraction zu widersetzen, allein die Muskeln links erfahren durch eben diese Contraction eine Widerstandsvermehrung, was immer gleichbedeutend ist mit einer Dehnung, und ziehen sich nur um so stärker zusammen, vernichten also den Zug nach rechts wieder. Sie fahren fort, den Körper nach links zu neigen, bis der letzte Impuls angekommen ist und gewirkt hat. Dann hört die Contraction, soweit sie nicht durch den

Digitized by Google

Muskelzug nach rechts aufrecht erhalten wird, auf, und der Körper bleibt in einer schräg gegen das Centrum geneigten Stellung in Ruhe. Allein nun beginnt auf die Muskeln links die Resultierende aus Schwere und Centrifugalkraft zu wirken, die den Körper nach rechts umzukanten sucht. Sie dehnt dieselben, sobald sie aufhören, den Körper weiter nach links zu ziehen, wieder aus, und jene beginnen alsbald, sich wieder auf die Länge, die sie in der letzten Ruhestellung hatten, zusammenzuziehen. Wie vorhin geht dabei die Längsaxe über diese hinaus in eine noch schrägere Lage; und dies Spiel setzt sich fort, bis die Körperlängsaxe die Richtung der Resultierenden erreicht hat. Auch über diese geht zwar zuerst die Längsaxe hinaus; alsbald greift aber die Resultierende nunmehr die Muskeln rechts an, und diese ziehen den Körper wieder zurück, bis derselbe endlich nach einigen Pendelbewegungen um die Richtung der Resultierenden in dieser Lage zur Ruhe kommt. Er hat nun seinen wahren Usustatus gefunden. Denn seine Längsaxe fällt jetzt mit der Richtung der auf ihn wirkenden Resultierenden zusammen, die mit der Schwere, welche ja auch sonst in der Richtung der Längsaxe wirkt, identisch ist. Beide sind constante Kräfte, beide greifen in allen Massenpunkten zugleich an. Der Körper befindet sich also thatsächlich in denselben Verhältnissen, wie in der Verticalstellung während der Ruhe, oder während einer Progressivbewegung; und es ist daher selbstverständlich, dass der Betreffende seine jetzige Lage auch wirklich für die Verticale hält (vergl.

Digitized by Google

das entsprechende, von Mach gefundene und weiter oben angeführte Gesetz).

Je stärker die Geschwindigkeit der Rotation, um so grösser die centrifugale Componente, um so geneigter die Resultirende, um so schräger die Längsaxe des Körpers; je langsamer die Drehung, um so aufrechter der Körper.

Es bleibt uns nun noch übrig, den Einfluss des Kopfes auf die Bewegungsvorstellungen vom Standpunkt der Muskelsinntheorie aus zu beleuchten. Es ist schon a priori verständlich, dass die Halsmuskeln bei Drehungen unseres Körpers um eine andere als die verticale Axe mehr in Bezug auf ihre Spannungsverhältnisse davon afficirt werden, als irgend welche andere Muskeln. Denn der Kopf, den sie zu fixiren haben, hat von allen Körpertheilen beim Umfallen die grösste Geschwindigkeit und mithin, da er auch noch sehr freibeweglich ist und von relativ grosser Masse, ein ausserordentlich vorwiegendes Bewegungsmoment. Es erscheint daher nur natürlich — und lässt sich auch experimentell erhärten —, dass wir schon allein aus der Dehnung gewisser Halsmuskeln infolge einer äusseren Kraft den Schluss machen, nach der Seite, wohin der Kopf gezogen wird, umzusinken.

Macht nun jemand, der auf der Drehscheibe rotirt, eine Kopfbewegung um eine der Rotationsaxe nicht parallele Axe, so kommt dadurch sein Kopf, weil er sich aus der Rotationsbahn des Rumpfes entfernt, in eine Region, wo andere Geschwindigkeit und andere Centrifugalkraft herrscht, wird also gegenüber dem

Digitized by Google

Rumpfe eine positive oder negative Beschleunigung bekommen, und der Beobachter wird infolgedessen meinen, nach der einen oder anderen Richtung umzusinken, das heisst, eine Drehbewegung auszuführen.

Ich muss darauf verzichten, die grosse Zahl der hierher gehörigen Experimente näher zu erörtern. Dieselben stehen, wie die ganze Frage nach dem Einfluss des Kopfes auf die Bewegungsvorstellungen, in engster Beziehung zu den Erscheinungen des Gesichts- und auch des Tastschwindels, deren Besprechung jenseits des Rahmens dieser Abhandlung liegt.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

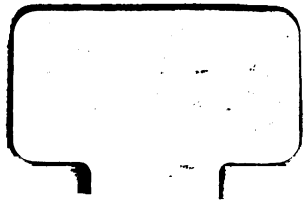
Digitized by Google

Digitized by Google

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.



Digitized by Google

Digitized by Google